

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
27 octobre 2005 (27.10.2005)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
WO 2005/100618 A2

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : C21D 8/02,  
C22C 38/22, 38/24, 38/38, 38/60

PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM,  
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,  
ZW.

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2005/000646

(22) Date de dépôt international : 16 mars 2005 (16.03.2005)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
0402804 18 mars 2004 (18.03.2004) FR

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : MIT-TAL STEEL GANDRANGE [FR/FR]; Site industriel de Gandrange, F-57175 Gandrange (FR).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— relative au droit du déposant de demander et d'obtenir un brevet (règle 4.17.ii) pour les désignations suivantes AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW, brevet ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)

— relative au droit du déposant de revendiquer la priorité de la demande antérieure (règle 4.17.iii) pour la désignation suivante US

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: FORGED OR STAMPED AVERAGE OR SMALL SIZE MECHANICAL PART

(54) Titre : PIECE MECANIQUE DE TAILLE MOYENNE OU PETITE ISSUE DE LA FORGE OU DE LA FRAPPE

(57) **Abstract:** The inventive average or small size mechanical steel part is produced by hot forging or cold stamping i.e. by plastic processing of a long ferrous semi-product which is obtainable by continuous casting and hot rolling in the austenitic phase and, afterwards is shaped by plastic deformation and heat treated in order to obtain a metallographic structure substantially containing an acicular ferrite at least in mechanical toughness and fatigue stress areas. The composition of said steel, apart from iron and inevitable residual impurities resulting from steel production, corresponds at least to the following analysis: 0.2-0.5 % C, 0.5-2.0 % Mn, 0.05-0.5 % V, 0.6 1.5 % Si, 0.05 1.0 % Cr, 0.01-0.5 % Mo, 0.02-0.10 S, preferably from 0.01 to 0.02 % Ti and/or up to 0.20 % Al, and from 5 to 30 ppm of Ca.

(57) **Abbrégé :** Cette pièce mécanique en acier est issue de la forge à chaud ou de la frappe à froid. De taille moyenne ou petite, elle vient de la transformation plastique d'un demi-produit sidérurgique long issu de la coulée continue et laminé à chaud dans le domaine austénitique puis mis en forme par déformation plastique et traité thermiquement pour obtenir une structure métallographique contenant essentiellement de la ferrite aciculaire au moins dans les zones de sollicitations mécaniques en ténacité et en fatigue. La composition dudit acier, outre le fer et les inévitables impuretés résiduelles résultant de l'élaboration de l'acier, répond au moins à l'analyse suivante: entre 0,2 et 0,5 % de C; 0,5 et 2,0 % de Mn; entre 0, 05 et 0, 5 % de V; entre 0, 6 et 1,5 % de Si; entre 0,05 et 1,0 % de Cr, entre 0,01 et 0,5 % de Mo; entre 0,02 et 0,10 de S, de préférence entre 0,01 à 0,02 % de Ti et/ou jusqu'à 0,20 % d'Al, et entre 5 et 30 ppm de Ca.

WO 2005/100618 A2



- relative au droit du déposant de revendiquer la priorité de la demande antérieure (règle 4.17.iii)) pour la désignation suivante US
- relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)) pour US seulement

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

**Publiée :**

- sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport

## Pièce mécanique de taille moyenne ou petite issue de la forge ou de la frappe.

L'invention concerne les pièces mécaniques de taille moyenne ou petite en acier moyen carbone micro-allié, telles que des moyeux de roue, des bielles ou rotules pour automobile, ou autres pièces mécaniques analogues obtenues par déformation plastique à chaud ou à froid d'un demi-produit sidérurgique long et pour lesquelles on recherche avant tout des propriétés de tenue à la fatigue et de ténacité. Par taille moyenne ou petite, on entend ici des pièces dont le diamètre n'excède pas 80 mm environ.

Pour réaliser de telles pièces, il est connu de faire appel à des aciers spécialement alliés pour obtenir une structure métallographique de type bainitique ou essentiellement bainitique. Par "essentiellement", il faut comprendre classiquement 80% et plus en volume de la structure bainitique à l'endroit de la pièce où cette structure est recherchée.

Leur fabrication requiert en effet de pouvoir supporter sans rupture ou fissuration des modifications de forme importantes tout en présentant au final une bonne tenue à la rupture fragile (ténacité) et en fatigue eu égard aux cycles de contraintes répétitifs auxquels les pièces sont soumises en usage, ainsi qu'aux chocs (résilience élevée). Par ailleurs, ces aciers doivent présenter de bonnes caractéristiques d'usinabilité afin de permettre une mise aux côtes finales précises par usinage de la pièce prête à l'usage exigée dans nombre d'applications.

Classiquement, le processus de fabrication peut comprendre une opération de déformation plastique à froid (frappe ou forge), ou à chaud (forge), le choix de la voie chaude ou froide se faisant souvent en fonction de la taille finale des pièces. Dans tous les cas, cette opération se fera sur des lopins d'acier découpés dans des barres issues de demi-produits sidérurgiques longs coulés en continu et laminés à chaud. Lorsque la déformation plastique se fait "à chaud", les lopins d'acier sont préalablement réchauffés jusqu'à une température de 1000 à 1200 °C environ, puis mis en forme à chaud à la forge. Les pièces obtenues sont ensuite refroidies et traitées thermiquement par trempe et revenu. Lorsque la déformation plastique se fait "à froid", les lopins sont mis en forme à froid à la presse, éventuellement après avoir subi un recuit de globulisation. Les pièces obtenues sont ensuite traitées thermiquement par trempe et revenu.

On rappelle qu'en service, ces pièces sont habituellement soumises à des sollicitations mécaniques variables, voire cycliques, qui génèrent un important travail en fatigue. La fatigue de l'acier se traduit par l'apparition de microfissures qui se propagent jusqu'à rupture, quand bien même la contrainte est plus faible que la résistance à la traction ou à la limite d'élasticité du métal qui compose la pièce. On estime aujourd'hui que la fatigue est responsable de près de 90 % des ruptures en service de pièces mécaniques. De même, les chocs que peut subir une pièce mécanique en service

provoquent l'apparition de microfissures qui peuvent amener la pièce à se rompre prématulement si un soin particulier n'est pas apporté aux propriétés de résilience du métal qui la constitue.

Or, la structure bainitique de l'acier se présente ordinairement sous forme de lattes parallèles qui offrent par conséquent peu d'obstacles à la propagation des microfissures. Cette structure, bien que recherchée pour ses propriétés de résistance mécanique et de ductilité, ne présente donc pas nécessairement une ténacité, ni une tenue à la fatigue satisfaisantes.

Il est par exemple connu, par le document EP 0 787 812, d'améliorer la tenue en fatigue de pièces forgées grâce à la présence d'austénite résiduelle au sein de la bainite, obtenue au moyen d'un refroidissement contrôlé adéquat associé au choix d'une nuance d'acier dont la composition a été spécialement enrichie en silicium.

Le but de l'invention est d'apporter une autre solution à l'amélioration de la tenue en fatigue et de la ténacité des pièces mécaniques forgées ou frappées qui conserve leurs caractéristiques mécaniques élevées, de résistance, ductilité et résilience par exemple.

A cet effet, l'invention a pour objet une pièce mécanique en acier issue de la forge à chaud ou de la frappe à froid, de taille moyenne ou petite, venant de la transformation plastique d'un demi-produit sidérurgique long, caractérisée en ce que l'acier dont elle est constituée présente une composition qui, outre le fer et les inévitables impuretés résiduelles résultant de l'élaboration de l'acier, répond au moins à l'analyse suivante, donnée en pourcentages pondéraux:

0,2  $\leq$  C  $\leq$  0,5

0,5  $\leq$  Mn  $\leq$  2,0

0,05  $\leq$  V  $\leq$  0,5

0,6  $\leq$  Si  $\leq$  1,5

0,05  $\leq$  Cr  $\leq$  1,0

0,01  $\leq$  Mo  $\leq$  0,5

0,02  $\leq$  S  $\leq$  0,10

et éventuellement jusqu'à 50 ppm de bore

et en ce que ladite pièce est obtenue à partir d'un demi produit long issu de la coulée continue et laminé à chaud dans le domaine austénitique, puis mis en forme par déformation plastique et traité thermiquement pour obtenir une structure métallographique contenant essentiellement de la ferrite aciculaire, ce au moins dans les zones de sollicitations mécaniques en ténacité et en fatigue.

Par "essentiellement", on entend ici au moins 50 % et de préférence 60 %, voire même avantageusement 80 % et plus de ferrite aciculaire en volume.

L'invention a encore pour objet un acier pour la fabrication d'une pièce mécanique par déformation plastique caractérisé en ce que, outre les inévitables

impuretés résiduelles venant de l'élaboration de l'acier, sa composition chimique comprend au moins, exprimés en teneur pondérale:

0,2 ≤ C ≤ 0,5  
0,5 ≤ Mn ≤ 2,0  
0,05 ≤ V ≤ 0,5  
0,6 ≤ Si ≤ 1,5  
0,05 ≤ Cr ≤ 1,0  
0,01 ≤ Mo ≤ 0,5  
0,02 ≤ S ≤ 0,10

et éventuellement jusqu'à 50 ppm de B.

et en ce que la microstructure métallographique qu'il présentera, une fois ladite pièce mise en œuvre, est essentiellement composée de ferrite aciculaire au moins dans les zones de la pièce soumises à des sollicitations mécaniques en ténacité et en fatigue.

Tant pour ce qui concerne la pièce mécanique que la nuance d'acier définies ci-avant, afin de faciliter l'obtention de ferrite aciculaire, l'acier comprend en outre de préférence de 5 à 30 ppm de Ca, et ou de 0,01 à 0,02 % de Ti, avec éventuellement jusqu'à 0,2% d'Al.

L'invention a encore pour objet un procédé de fabrication d'une telle pièce mécanique en acier caractérisé en ce que, dans le but d'obtenir de la ferrite aciculaire au moins localement sur ladite pièce, il comprend les étapes suivantes :

- on approvisionne une billette de coulée continue en acier de composition conforme à l'analyse donnée ci-avant, que l'on lamine à chaud à une température supérieure à 1 000 °C en barre ou en fil avant d'être refroidie jusqu'à l'ambiante après laminage ;

- le fil étant soumis à un refroidissement contrôlé avant sa mise en couronne pour l'obtention d'une structure métallographique composée essentiellement de ferrite aciculaire, fil que l'on découpe alors en lopins et que l'on frappe à froid en pièce finie prête à l'usage;

- la barre étant, elle, refroidie naturellement dans la chaude de laminage avant sa découpe en lopins que l'on forge ensuite à chaud en une ébauche de pièce que l'on refroidit par refroidissement contrôlé pour l'obtention d'une structure essentiellement composée de ferrite aciculaire au moins dans les zones sollicitées de la pièce, ébauche que l'on usine alors le cas échéant aux côtes souhaitées pour en faire une pièce finie prête à l'usage.

En variante, le refroidissement contrôlé est un refroidissement naturel jusqu'à l'ambiante. En pratique, en effet, il se trouve que les pièces forgées sont immédiatement entreposées en vrac dans des bennes les unes sur les autres. Les pièces situées sur le dessus du tas vont refroidir plus vite que celles situées en dessous. Il n'est donc pas recherché à ce stade un refroidissement contrôlé de chaque pièce, puisque celles-ci vont d'ailleurs le plus souvent être ensuite traitées thermiquement.

Dans le procédé selon l'invention en revanche, les pièces peuvent certes refroidir de manière naturelle (c'est à dire sans soufflage d'air), mais ce refroidissement doit néanmoins être contrôlé afin d'assurer la formation de ferrite aciculaire. Ce contrôle du refroidissement peut se faire par exemple en déposant les pièces une à une, distantes les unes des autres, directement après l'opération de forge sur un tapis roulant, qui les achemine vers l'aire de réception de l'atelier en vue de leur stockage avant expédition.

Toutefois, selon une variante préférée de l'invention, le refroidissement contrôlé est un refroidissement forcé, par exemple à l'air soufflé, assurant une vitesse de refroidissement en surface de 0,5 à 15 °C/s environ.

On rappelle que les habitudes de vocabulaire dans la profession sidérurgique font que l'on appelle "fil" les produits laminés sous des diamètres allant jusqu'à 30 mm de diamètre environ (que l'on conditionne souvent sous forme de couronnes), et "barres" ceux laminés à partir de 18 mm de diamètre et qui sont livrés rectilignes après découpe à longueur à la sortie du train.

L'invention a enfin pour objet un demi-produit sidérurgique long moyen carbone, destiné à être transformé par forge ou frappe à froid en une pièce mécanique à hautes caractéristiques, de petite taille ou de taille moyenne, caractérisé en ce que l'acier qui le compose répond au moins à l'analyse suivante, donnée en pourcentages pondéraux :

0,2 ≤ C ≤ 0,5  
0,5 ≤ Mn ≤ 2,0  
0,05 ≤ V ≤ 0,5  
0,6 ≤ Si ≤ 1,5  
0,05 ≤ Cr ≤ 1,0  
0,01 ≤ Mo ≤ 0,5  
0,02 ≤ S ≤ 0,10

et éventuellement jusqu'à 50 ppm de bore

et en ce que la microstructure métallographique qu'il présentera après transformation sera essentiellement composée de ferrite aciculaire au moins dans les zones de la pièce soumises à des sollicitations mécaniques en ténacité et en fatigue.

Comme on l'aura sans doute compris, l'invention consiste en fait à proposer la fabrication d'une pièce mécanique tenace et résiliente dotée d'une microstructure essentiellement composée de ferrite aciculaire au moins dans les zones de la pièce sollicitées mécaniquement en fatigue, ce à partir d'un acier moyen carbone associé, dans les fourchettes d'analyses données en ces éléments, à du manganèse (gammagène lui aussi) pour la résistance à la rupture, et micro-allié au vanadium assisté par le soufre afin de promouvoir le développement de ferrite aciculaire et associé, d'une part, au molybdène pour améliorer la résilience et durcir encore d'avantage la ferrite que le vanadium seul, d'autre part, au chrome pour faciliter l'efficacité du refroidissement contrôlé lors de l'opération de transformation, et, pour une troisième part, à du silicium,

alphagène lui, pour augmenter la résilience, mais aussi pour favoriser la précipitation aux joints de grains d'une ferrite qui empêchera la bainite de tout envahir et permettra ainsi à la ferrite aciculaire de naître pour prendre la place qui lui est due.

Il doit être rappelé ici que la ferrite aciculaire est un constituant métallographique connu en sidérurgie. On l'utilise déjà par exemple, comme le montre l'EP-A n° 0288054, pour faciliter le processus de fabrication de tôles à grains fins pour usage basse température (of shore, etc..) en supprimant l'étape de réchauffage intermédiaire entre coulée et laminage à chaud.

De même, comme le montre l'USP n° 6.669.789, il est connu de faire appel, à coté de la ferrite polygonale-perlite habituelle, à une structure de ferrite aciculaire (qui germe sur les carbures) pour la fabrication de tôle en acier au titane à haute résistance et fort allongement pour limiter la taille du grain austénitique à partir de brames minces laminées à chaud.

L'invention sera bien comprise et d'autres aspects et avantages apparaîtront plus clairement au vu de la description détaillée qui suit, donnée à titre d'exemple de réalisation.

On produit à l'aciérie, par coulée continue, des demi-produits longs (billettes ou blooms) issus d'un acier ayant, outre le fer, la composition suivante en teneur pondérale par rapport au fer :

De 0,2 à 0,5% de carbone. A ces teneurs, le carbone permet d'obtenir de bonnes caractéristiques de résistance mécanique. En particulier, la résilience requise est assurée par les 0.2 % mini. Par contre, sa teneur ne doit pas être trop importante (0.5 % maxi environ) pour ne pas favoriser la formation de bainite au lieu de la ferrite aciculaire recherchée.

De 0,5 à 2,0 % de manganèse. Le manganèse est classiquement utilisé ici pour augmenter la trempabilité de l'acier sous les teneurs de carbone prémentionnées. Toutefois, sa teneur est préférentiellement inférieure à 2,0 % afin d'éviter sa ségrégation qui nuirait à l'homogénéité de la structure.

De 0,05 à 0,5 % de vanadium. Le vanadium favorise le développement de la ferrite aciculaire, comme déjà dit, en permettant d'augmenter la taille des domaines bainitiques et en les décalant vers les hautes températures. Il diminue également le domaine d'apparition de la ferrite perlite.

De 0.02 à 0.10 % de soufre. Le soufre, non seulement améliore l'usinabilité des pièces, mais remplit un rôle principalement recherché ici dans le mécanisme de nucléation de la ferrite aciculaire. Il a été découvert en effet que ce sont les sulfures, et non les carbures comme dans le cas du document USP 6.669.789 précité, qui constituent en fait des points d'ancrage essentiels sur lesquels vont germer les grains de ferrite aciculaire dont le développement va être promu par le vanadium, allié au silicium.

De 0,6 à 1,5 % de silicium. Le silicium sert classiquement à désoxyder l'acier. Sa teneur doit toutefois rester inférieure ici à 1,5 % afin de ne pas fragiliser l'acier. Il joue ici un rôle essentiel dans l'accroissement contrôlé du domaine bainitique dans lequel se forme la ferrite aciculaire en précipitant comme déjà indiqué de la ferrite primaire aux joints de grains et en permettant ainsi au vanadium de promouvoir le développement de ferrite aciculaire.

De 0,05 à 1,0 % de chrome. Le chrome permet d'ajuster la trempabilité de la nuance et ainsi d'accompagner l'augmentation de taille des pièces à produire. Il agit également avec le silicium afin d'augmenter la plage d'existence de la ferrite aciculaire.

De 0,01 à 0,5 % de molybdène. Le molybdène contribue à l'obtention de la structure finale par un ajustement de la trempabilité de la nuance. En effet, si la teneur en éléments trempants est trop faible, on obtiendra une structure ferrito-perlitique, et à l'inverse, une nuance trop trempante peut conduire à l'obtention de martensite ou d'austénite résiduelle.

Optionnellement, mais très conseillé en pratique, de 0,01 à 0,02 % de titane afin de protéger les éléments de l'azote, et garder notamment du vanadium libre en quantité suffisante qui sinon formerait trop facilement des nitrures précipités.

De même optionnellement mais classiquement très utilisé en pratique, de 5 à 30 ppm de calcium afin d'améliorer la coulabilité de l'acier et sa mise en œuvre. Il facilite l'obtention d'inclusions d'oxydes qui peuvent entrer dans le mécanisme de nucléation de la ferrite aciculaire.

Eventuellement jusqu'à 50 ppm de bore qui agira en synergie avec le molybdène pour élargir le domaine bainitique dans lequel se forme la ferrite aciculaire.

Eventuellement jusqu'à 0,2 % d'aluminium pour le contrôle de la taille du grain austénitique, mais il jouera également un rôle dans la préservation du vanadium.

Cette composition optimisée permet à l'acier de présenter, suite à un refroidissement contrôlé, une structure essentiellement composée de ferrite aciculaire. Par essentiellement, on comprendra une teneur en ferrite aciculaire de plus de 50 % et de préférence de plus de 60 %, et avantageusement environ 80 % voire plus. Une telle structure métallographique permet à l'acier de présenter de bonnes caractéristiques mécaniques de résistance, dureté et ductilité, mais également une tenue aux chocs et au travail en fatigue accrue.

Comme on va le voir, la ferrite aciculaire est obtenue avant ou après la mise en forme de la pièce, mais en tout cas au moyen d'un refroidissement contrôlé de l'acier.

Dans le premier cas, la déformation se fait à froid sur un acier présentant déjà une structure essentiellement composée de ferrite aciculaire. On approvisionne un demi-produit long constitué d'un acier d'analyse conforme à l'invention que l'on lamine à chaud, au besoin après un réchauffage au-dessus de 1100 °C, selon la pratique habituelle du laminage à chaud, jusqu'à l'obtention d'un fil laminé de 10 mm de diamètre par exemple. La température de dépôse du fil est de l'ordre de 900 à 950 °C.

Le fil laminé obtenu est refroidi à l'air soufflé dans la "chaude" de laminage elle-même de la manière habituelle (procédé "Steelmor" par exemple). Si son diamètre le permet, le fil peut également être refroidi de manière naturelle jusqu'à l'air ambiant.

Le fil laminé est livré sous forme de couronne au transformateur qui va le découper en lopins de longueur voulue et les soumettre à une frappe à froid pour l'obtention des pièces désirées. Les caractéristiques mécaniques finales sont naturellement obtenues par l'écrouissage résultant de la mise en forme.

Dans le second cas, la déformation plastique se fait "à chaud" et la structure métallographique est obtenue directement sur les ébauches de forge. On approvisionne un demi-produit long constitué d'un acier d'analyse conforme à l'invention qu'on lamine à chaud jusqu'à lui donner un diamètre de 35 mm par exemple. Après refroidissement éventuel, qui n'a pas besoin à ce niveau d'être contrôlé, la barre est mise à longueur par découpe et livrée au forgeron.

Les barres sont alors débitées en lopins. Chaque lopin est porté à une température d'au moins 1100°C au moyen d'un four à induction. Ce chauffage peut également se faire plus classiquement mais les conditions de chauffage (temps, vitesse de chauffe, etc...) doivent alors être optimisées pour obtenir une structure austénitique homogène présentant une taille de grain favorable à la formation de la ferrite aciculaire. La taille des grains austénitique est alors estimée à 80 µm. Les lopins sont soumis à une opération de déformation plastique à chaud. Le forgeage se termine à une température supérieure à 1100°C. Les ébauches de pièces ainsi obtenues subissent ensuite un refroidissement forcé jusqu'à la température ambiante à une vitesse de refroidissement comprise entre 0,5 et 15 °C/s environ, en fonction du diamètre de la pièce et de l'optimisation de la composition de l'acier. La pièce peut également être refroidie de manière naturelle mais contrôlée, en plaçant les ébauches en sortie de forge une à une sur un tapis roulant par exemple. La pièce est alors usinée pour respecter les cotes finales visées. Eventuellement, au lieu de l'usinage, l'ébauche peut être soumise à une deuxième déformation plastique. Cette opération complémentaire peut être menée à froid sans risquer de fissurer la pièce du fait du caractère ductile donné par la microstructure à l'acier. Il n'est pas nécessaire de mettre en œuvre un traitement thermique de trempe et revenu pour obtenir les caractéristiques mécaniques visées.

La nuance d'acier conforme à l'invention permet d'obtenir une pièce de structure métallographique essentiellement composée de ferrite aciculaire. Elle présente les caractéristiques mécaniques de résistance à la rupture et de dureté requises par ses propriétés d'emploi, et répond aux exigences d'usinabilité. En outre elle présente une ténacité accrue de par sa structure même dont l'enchevêtrement des lattes sert d'obstacle à l'apparition et à la propagation des fissures. Cette ténacité accrue lui permet en fait de présenter du coup également une meilleure résistance aux chocs et une meilleure tenue à la fatigue. De plus, elle autorise également une seconde mise en forme à froid par frappe

par exemple. L'obtention de ferrite aciculaire permet également d'accroître la résistance mécanique de la nuance par la forte densité de dislocation de ses lattes.

Des essais ont été effectués dans les laboratoires du producteur de demi-produits pour forge venant de la coulée continue. Un moyeu de roue y a été forgé à partir d'un acier selon l'invention dont la composition chimique, outre le fer et les impuretés résultant de l'élaboration, répond à l'analyse suivante :

| % C  | % Mn | % V  | % Si | % Cr | % Mo | ppm B | % S  | ppm Ca | % Ti  | % Al |
|------|------|------|------|------|------|-------|------|--------|-------|------|
| 0,31 | 1,33 | 0,12 | 1,18 | 0,28 | 0,03 | 20    | 0,04 | 11     | 0,015 | 0,02 |

Avant le forgeage, ce lopin a été chauffé à 1200°C par induction. La température de fin de forgeage est de 1100°C. Après forgeage l'ébauche est refroidie à une vitesse de 2°C/s directement dans la chaude. Aucun autre traitement thermique n'est appliqué.

La structure obtenue sur ce moyeu d'essai est à 80 % de la ferrite aciculaire, il présente en outre les caractéristiques mécaniques suivantes :

| Rm (MPa) | Rp <sub>0,2</sub> (MPa) | Dureté (HV) | A (%) | Z (%) |
|----------|-------------------------|-------------|-------|-------|
| 1150     | 800                     | 300         | 11    | 25    |

On rappelle que :

- R<sub>m</sub> représente la résistance à la rupture correspondant à la force maximale avant rupture rapportée à la section initiale du fil.
- R<sub>p0,2</sub> représente la limite d'élasticité conventionnelle correspondant à la force rapportée à la section initiale du fil provoquant un allongement plastique de 0,2 %.
- A représente l'allongement à la rupture.
- Z représente la striction correspondant à la réduction de section du fil après rupture.

Il va de soi que l'invention ne saurait se limiter à l'exemple qui vient d'être décrit, moyeu de roue, mais qu'elle s'étend à de multiples variantes ou équivalents, en type de pièces et en taille et dimension, dans la mesure où est respectée sa définition donnée dans les revendications jointes.

## REVENDICATIONS

1- Pièce mécanique en acier issue de la forge à chaud ou de la frappe à froid, de taille moyenne ou petite, et venant de transformation plastique d'un demi-produit sidérurgique long, caractérisée en ce que l'acier dont elle est constituée présente une composition qui, outre le fer et les inévitables impuretés résiduelles résultant de l'élaboration de l'acier, répond au moins à l'analyse suivante, donnée en pourcentages pondéraux:

$$0,2 \leq C \leq 0,5$$

$$0,5 \leq Mn \leq 2,0$$

$$0,05 \leq V \leq 0,5$$

$$0,6 \leq Si \leq 1,5$$

$$0,05 \leq Cr \leq 1,0$$

$$0,01 \leq Mo \leq 0,5$$

$$0,02 \leq S \leq 0,10$$

et éventuellement jusqu'à 50 ppm de bore

et en ce que ladite pièce est obtenue à partir d'un demi produit long issu de la coulée continue et laminé à chaud dans le domaine austénitique, puis mis en forme par déformation plastique et traité thermiquement pour obtenir une structure métallographique contenant essentiellement de la ferrite aciculaire au moins dans les zones de sollicitations mécaniques en ténacité et en fatigue.

2- Pièce mécanique selon la revendication 1 caractérisée en ce que l'acier qui la compose contient en outre de 0,01 à 0,02 % de titane et/ou jusqu'à 0,20 % d'aluminium.

3- Pièce mécanique selon la revendication 1 ou 2 caractérisée en ce que l'acier qui la compose comprend en outre entre 5 et 30 ppm de calcium.

4- Acier pour la fabrication d'une pièce mécanique par déformation plastique, caractérisé en ce que, outre les inévitables impuretés résiduelles venant de l'élaboration de l'acier, sa composition chimique comprend au moins, exprimés en teneur pondérale:

$$0,2 \leq C \leq 0,5$$

$$0,5 \leq Mn \leq 2,0$$

$$0,05 \leq V \leq 0,5$$

$$0,6 \leq Si \leq 1,5$$

$$0,05 \leq Cr \leq 1,0$$

$$0,01 \leq Mo \leq 0,5$$

$0,02 \leq S \leq 0,10$

et éventuellement jusqu'à 50 ppm de B.

et en ce que la microstructure métallographique qu'il présentera, une fois ladite pièce mise en œuvre, est essentiellement composée de ferrite aciculaire au moins dans les zones de la pièce soumises à des sollicitations mécaniques en ténacité et en fatigue.

5- Acier selon la revendication 5 ou 6 caractérisé en ce que, pour protéger le vanadium, il contient en outre de 0,01 à 0,02 % de titane et/ou jusqu'à 0,20 % d'aluminium.

6- Acier selon la revendication 4 ou 5 caractérisé en ce qu'il comprend en outre entre 5 et 30 ppm de calcium.

7- Procédé de fabrication d'une pièce mécanique en acier caractérisé en ce que, dans le but d'obtenir de la ferrite aciculaire au moins localement sur ladite pièce, il comprend les étapes suivantes :

- on approvisionne une billette de coulée continue en acier de composition conforme à l'analyse donnée ci-avant, que l'on lamine à chaud à une température supérieure à 1 000 °C en barre ou en fil avant d'être refroidie jusqu'à l'ambiente après laminage ;

- le fil étant soumis à un refroidissement contrôlé avant sa mise en couronne pour l'obtention d'une structure métallographique composée essentiellement de ferrite aciculaire, fil que l'on découpe alors en lopins et que l'on frappe à froid en pièce finie prête à l'usage;

- la barre étant, elle, refroidie naturellement dans la chaude de laminage avant sa découpe en lopins que l'on forge ensuite à chaud en une ébauche de pièce que l'on refroidit par refroidissement contrôlé pour l'obtention d'une structure essentiellement composée de ferrite aciculaire au moins dans les zones sollicitées de la pièce, ébauche que l'on usine alors le cas échéant aux côtes souhaitées pour en faire une pièce finie prête à l'usage.

8-Procédé selon la revendication 7 caractérisé en ce que le refroidissement contrôlé est un refroidissement naturel jusqu'à l'ambiente.

9- Procédé selon la revendication 7 caractérisé en ce que le refroidissement contrôlé est un refroidissement forcé assurant une vitesse de refroidissement en surface de 0,5 à 15 °C/s environ.

10- Demi-produit sidérurgique long moyen carbone, destiné à être transformé par forge ou par frappe en une pièce mécanique à hautes caractéristiques, de petite taille

ou de taille moyenne, caractérisé en ce que dans le but que ladite pièce présente une microstructure métallographique essentiellement composée de ferrite aciculaire au moins dans les zones de la pièce soumises à des sollicitations mécaniques en ténacité et en fatigue, l'acier qui le compose répond au moins à l'analyse suivante, donnée en pourcentages pondéraux :

0,1 ≤ C ≤ 0,5

0,5 ≤ Mn ≤ 2,0

0,05 ≤ V ≤ 0,5

0,6 ≤ Si ≤ 1,5

0,05 ≤ Cr ≤ 1,0

0,01 ≤ Mo ≤ 0,5

0,02 ≤ S ≤ 0,10

et éventuellement jusqu'à 50 ppm de bore

et en ce que la microstructure métallographique qu'il présentera après transformation sera essentiellement composée de ferrite aciculaire au moins dans les zones de la pièce soumises à des sollicitations mécaniques en ténacité et en fatigue.